

ANALISIS KOLOM PENDEK BETON BERTULANG YANG MENGALAMI GAYA AKSIAL CENTRIS DAN MOMEN BIAKSIAL AKIBAT PENGARUH GEOMETRIK PENAMPANG MELINTANG DAN KONFIGURASI TULANGAN

Bambang Wuritno

Dosen Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Semarang

Abstraksi

Kolom sering disebut juga sebagai batang tekan (compression member) karena sesuai dengan fungsinya yang meneruskan beban dari sistem lantai ke fondasi. Tetapi elemen struktur tekan yang hanya memikul beban aksial murni adalah jarang, kalau pun ada semua kolom dibebani dengan momen lentur.

Untuk itu bagi seorang designer maupun engineer, dalam merencanakan elemen kolom perlu didasarkan pada kekuatan dan kekakuan penampang lintangnya terhadap aksi beban aksial dan momen lentur. Pada umumnya perencanaan kolom yang menerima beban aksial dan momen biaksial dihitung secara uniaksial pada masing – masing sumbu utama (sumbu x dan sumbu y) dengan menggunakan diagram interaksi $P_n - M_{nx}$ dan $P_n - M_{ny}$, kemudian setelah itu baru dilakukan superposisi untuk mendapatkan kapasitas penampang kolom yang memenuhi. Seperti metoda perencanaan yang diciptakan oleh Bresler, yaitu metoda beban berlawanan cara Bresler (*Bresler reciprocal load method*)¹. Namun pada penerapannya di lapangan (aplikasinya) hasil yang didapat mengakibatkan perkuatan berlebih atau *over reinforced* yang akan menyebabkan getas pada beton.

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Analisis terhadap kolom pendek beton bertulang yang mengalami gaya aksial centris dan momen biaksial tanpa diurai pada masing – masing sumbu utama (uniaksial) dan superposisi, namun dengan menganggap bahwa penampang yang dianalisis sebagai penampang yang mengalami momen resultante (M_R) dari M_x dan M_y . Karena kapasitas momen penampang dipengaruhi oleh bentuk geometri penampang dan konfigurasi tulangan, maka dalam analisis ini akan diuji beberapa jenis penampang.

1.2 Perumusan Masalah

Bagaimana hasil dari analisis kolom pendek beton bertulang yang mengalami gaya aksial centris dan momen biaksial akibat pengaruh geometrik penampang melintang dan konfigurasi tulangan, dengan mengambil beberapa bentuk geometri penampang melintang dan susunan jumlah tulangan yang berbeda – beda ?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dalam melakukan analisis terhadap kolom pendek beton bertulang yang mengalami gaya aksial centris dan momen biaksial dengan memperhatikan pengaruh dari bentuk geometri penampang dan konfigurasi tulangan yang hendak dipakai.

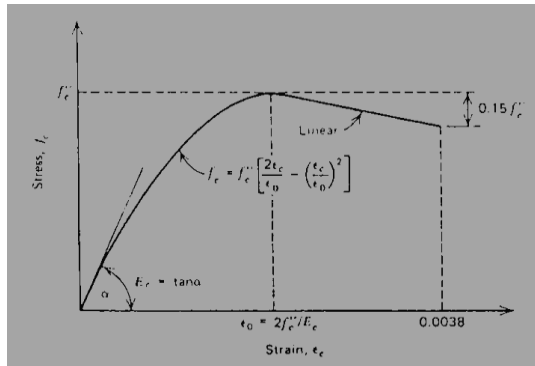
1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan secara numerik ini, adalah : sebagai salah satu pertimbangan dalam proses mendesain suatu elemen kolom pendek beton bertulang dengan memperhatikan bentuk geometri penampang melintang dan susunan konfigurasi tulangan yang hendak digunakan. Sehingga diharapkan mendapatkan hasil desain yang efisien, ekonomis serta optimum sesuai dengan ketentuan perencanaan yang berlaku.

1.5 Batasan Masalah

Sesuai dengan judul materi dan tujuan yang telah penulis utarakan, maka dalam tugas akhir ini penulis memberikan batasan – batasan masalah, sebagai berikut :

1. Faktor kuat tekan beton (f'_c) dan kuat tarik baja tulangan (f_y) diseragamkan nilainya pada semua bentuk geometri penampang yang akan dianalisis.
2. Faktor tekuk dan confinement tidak ditinjau dan tidak termasuk dalam parameter analisis karena penelitian secara numerik ini hanya ditujukan pada kolom pendek saja dengan mengacu pada prinsip Bernaulli, bahwa penampang rata sebelum lentur dan tetap rata setelah mengalami lentur.
3. Perhitungan block tegangan beton menggunakan model hubungan tegangan regangan beton Hognestad, seperti yang diperlihatkan pada gambar 1.1 dibawah ini, menganggap bahwa regangan pada serat paling atas dari penampang telah mencapai ultimate sebesar $\varepsilon \cong 0,0038$.



Gambar 1.1 Kurva tegangan – regangan beton Hognestad (sumber referensi Park dan Pauley, 1975).

4. Gaya yang bekerja pada baja tulangan, dihitung sebagai fungsi dari regangan baja tulangan, sedangkan regangan baja tulangan tersebut merupakan fungsi dari jaraknya terhadap sumbu netral. Sehingga hubungan tegangan regangan untuk baja tulangan bersifat sebagai fungsi bilinear.
5. Gaya aksial yang diterapkan pada penelitian secara numerik ini hanya pada gaya aksial tekan centris, dengan inkrementasi dari 0 sampai $0,65 \cdot f'_c \cdot A_g$. Hal tersebut dikarenakan jika beban aksial tekan diatas nilai tersebut akan memberikan jumlah gaya searah sumbu kolom yang merupakan fungsi asimtosis. Dengan kata lain jika gaya aksial tekan pada kondisi maksimal diatas nilai batas tersebut, maka seluruh permukaan penampang akan tertekan (tekan murni), sehingga tidak akan menimbulkan momen.

STUDI PUSTAKA

Dalam bukunya Wahyudi dan Rahim (1997 : 223), menerangkan bahwa secara numerik bidang interaksi biaksial disusun oleh satu seri titik – titik diskret yang membentuk satu bidang runtuh tiga dimensi. Koordinat dari titik – titik tersebut diperoleh dengan cara memutar suatu bidang regangan linier. Rumus yang diterapkan pada gambar 2.1 sesuai dengan SNI – 91 dan pasal 10.3 ACI, *Ultimate Strength Design*, dengan asumsi blok tegangan beton dari Hognestad. Diagram tegangan regangan dengan nilai maksimum sebesar 0,0038. Pada waktu membandingkan efek beban dengan diagram interaksi, nilai gaya aksial dibatasi oleh :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{maks}} &= 0,80 P_o && \text{untuk kolom dengan sengkang} \\
 P_{\text{maks}} &= 0,85 P_o && \text{untuk kolom dengan spiral}
 \end{aligned}$$

dengan

$$P_o = 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \quad (2.1)$$

dimana :

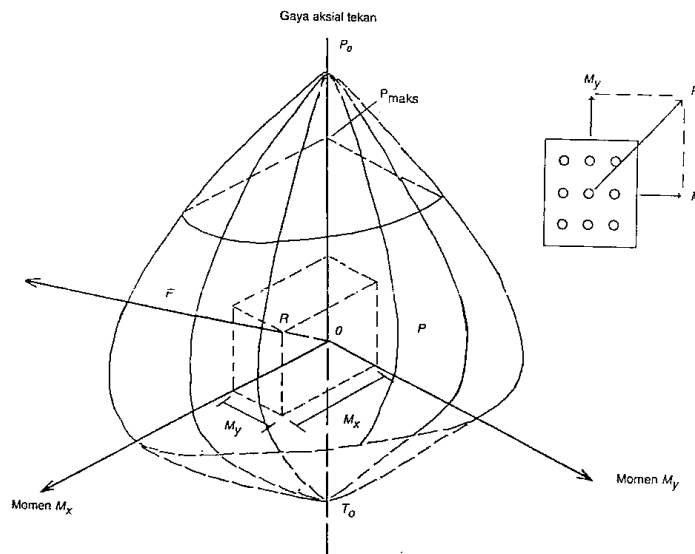
P_o : kuat nominal kolom dengan beban aksial saja tanpa eksentrisitas

A_g : luas penampang bruto

A_{st} : luas total tulangan memanjang dalam kolom

f'_c : kuat tekan beton silinder

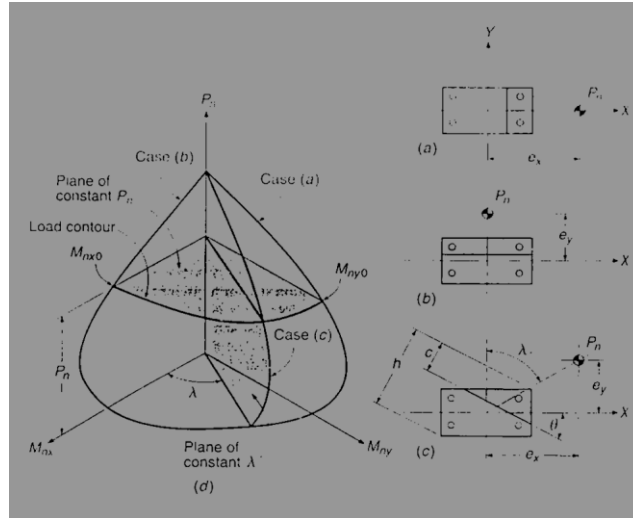
f_y : tegangan leleh baja tulangan



Gambar 2.1 Geometrik rasio kapasitas kolom (sumber referensi Wahyudi & Rahim, 1997).

Gaya pada baja tulangan dapat dihitung sebagai fungsi dari regangan tulangan itu, sedangkan regangan tulangan tersebut merupakan fungsi dari jaraknya terhadap garis sumbu netral. Sehingga hubungan tegangan regangan baja tulangan dapat dianggap sebagai fungsi bilinier.

Untuk menganalisa penampang kolom pendek yang mengalami momen biaksial, yaitu M_x dan M_y dapat dianalisis sebagai penampang kolom pendek yang mengalami momen resultante (M_R) dengan penampang yang berputar. Dimana sudut putarnya sebesar sudut yang dibentuk oleh momen M_x dan M_y . Seperti yang diperlihatkan dalam gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 Diagram interaksi untuk aksial dan biaksial bending : (a) uniaksial bending terhadap sumbu Y; (b) uniaksial bending terhadap sumbu X; (c) biaksial bending terhadap sumbu diagonal; (d) diagram interaksi (sumber referensi Nilson; Darwin & Dolan, 1997).

Dari gambar 2.2 diatas diperlihatkan mengenai diagram interaksi tiga dimensi beban aksial dan momen biaksial yang dibentuk oleh dua diagram momen uniaksial searah sumbu X dan sumbu Y. Gambar 2.2(a) menggambarkan bidang momen terhadap sumbu Y dengan eksentrisitas e_x yang diukur dalam arah sumbu X, dimana diagram interaksinya ditunjukkan pada gambar 2.2(d) untuk bidang (a) yang digambarkan dalam bidang kurva dengan sumbu utama P_n dan M_{ny} . Sama halnya pada gambar 2.2(b) memperlihatkan momen terhadap sumbu X dengan eksentrisitas e_y yang diukur dari sumbu Y, dimana diagram interaksinya ditunjukkan pada gambar 2.2(d) untuk bidang (b) yang digambarkan dalam bidang kurva dengan sumbu utama P_n dan M_{nx} . Sedangkan pada gambar 2.2(d) untuk bidang (c) merupakan kombinasi dari momen terhadap sumbu X dan Y yang diperoleh dari resultan momen yang digambarkan oleh sudut λ :

$$\lambda = \arctan \frac{M_{ny}}{M_{nx}} \quad (2.2)$$

Pada bidang (c) ini, resultant momen yang terjadi adalah momen terhadap sumbu diagonal yang dibentuk oleh sudut θ terhadap sumbu X, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.2(c). Sedangkan nilai sudut λ pada gambar 2.2(c) digunakan untuk membentuk diagram interaksi pada gambar 2.2(d) bidang (c), melalui sumbu vertikal P_n dengan sudut λ dari sumbu horisontal M_{nx} . Nilai – nilai λ yang lain pada kurva yang serupa diperoleh untuk menggambarkan suatu

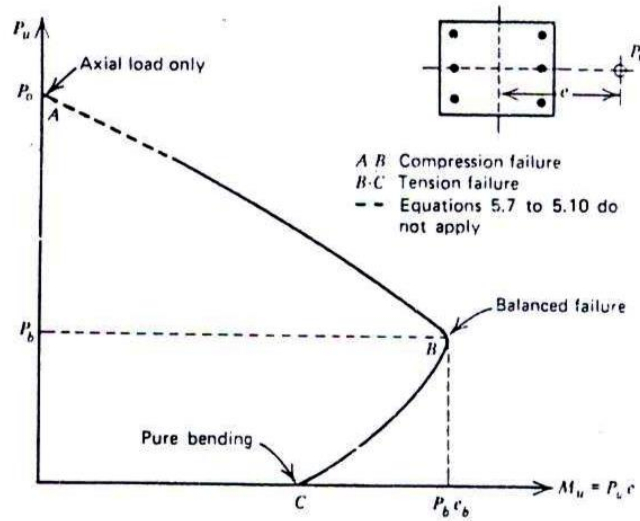
permukaan runtuh bagi beban aksial dan momen biaksial. Permukaan runtuh tersebut dapat diuraikan oleh satu set kurva yang digambarkan dengan bidang radial melalui sumbu vertikal P_n atau oleh satu set kurva yang digambarkan dengan bidang horisontal memotong tegak lurus sumbu P_n , dengan nilai P_n yang tetap, disebut sebagai *contur beban*.

Dari gambar 2.2(c) untuk nilai sudut θ yang telah didapat, maka nilai jarak c dari garis sumbu netral akan dapat diperoleh. Dengan menggunakan hubungan tegangan – regangan dan kesesuaian regangan didapatkan nilai gaya tegangan baja tulangan dan resultan gaya tekan beton, kemudian dengan menggunakan persamaan keseimbangan dapat dicari nilai P_n , M_{nx} dan M_{ny} , dimana salah satunya dapat ditentukan sebagai titik tunggal pada permukaan kurva bidang interaksi. Kalkulasi yang berulang – ulang sangat mudah dilakukan dengan bantuan komputer, yang kemudian dapat menentukan rangkaian titik – titik yang cukup untuk melukiskan kurva tersebut. Kesulitan – kesulitan dalam menganalisis bentuk daerah tekan secara manual yang berbentuk trapesium ataupun segitiga, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.2(c) dan perbedaan nilai regangan pada masing – masing baja tulangan karena kemiringan posisi garis netral, dengan bantuan metoda komputer yang interaktif akan dengan mudah untuk dianalisis.

Keseimbangan gaya didapat dari jumlah resultante gaya tekan pada blok tegangan beton (daerah tertekan/ *stress block*) dan gaya tarik maupun tekan tulangan baja pada kondisi kuat lentur tercapai (lentur murni) saja serta dari jumlah resultant gaya tekan pada blok tegangan beton dan gaya tarik maupun tekan baja tulangan untuk penampang yang mengalami lentur dan gaya aksial sentris. Persamaan keseimbangan yang dipakai adalah :

$$P = C_c + \sum S \quad (2.3)$$

Karena ini ditujukan untuk analisis kolom, maka gaya aksial yang diterapkan pada penampang berupa gaya aksial tekan saja. Adapun batas gaya aksial tekannya dari 0 sampai $0,65 f'_c A_g$, seperti yang telah diuraikan dalam bab pendahuluan sub bab batasan masalah. Beban aksial tekan diatas nilai batas teratas tersebut akan memberikan jumlah gaya searah sumbu kolom yang merupakan fungsi asimtotis dari $\varepsilon_s \text{ baja}$ pada nilai $\cong -0,0038$ (Purwanto dkk, 2001 : 4), dimana nilai – nilai diatas batas tersebut tidak akan terbaca oleh aplikasi program komputer dan persamaan 2.3 diatas tidak dapat diterapkan karena pada nilai maksimal searah sumbu kolom memberikan nilai tekan murni, seperti yang digambarkan oleh Park and Pauley (1975:130) fungsi asimtotis merupakan garis titik – titik pada gambar 2.3 berikut ini :



Gambar 2.3 Diagram interaksi tipikal gaya aksial dan momen lentur yang menyebabkan keruntuhan (sumber referensi Park dan Pauley, 1975).

Untuk mendapatkan block tegangan gaya tekan C_c dilakukan iterasi terhadap batas luas penampang daerah beton tertekan dengan fungsi diagram tegangan regangan beton. Dengan bantuan bahasa pemrograman komputer maka luas daerah tekan beton dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Luastekan = (x_{1[n]} + x_{2[n+1]}) * \frac{y_{[n]}}{2} \quad (2.4)$$

dimana nilai n merupakan nilai perulangan (iterasi) dari perhitungan luasan tekan beton, selanjutnya nilai resultant gaya tekan pada blok tegangan beton dapat dicari dengan persamaan :

$$C_c = \sum luastekan * f_{c[n]} \quad (2.5)$$

dimana nilai f_c dapat dicari dengan menggunakan persamaan block tekan beton Hognestad pada gambar 1.1 sub bab 1.5 dengan ketentuan :

jika regangan beton ε_i pada kondisi n memiliki nilai $0 < \varepsilon_i \leq \varepsilon_0$, maka

$$f_c = f'_c * \left[\left(\frac{2\varepsilon_i}{\varepsilon_0} \right) - \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \quad (2.6)$$

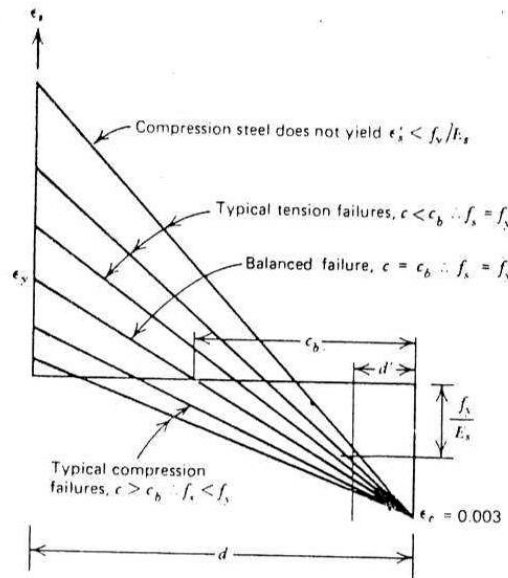
dan jika regangan beton ε_i pada kondisi n memiliki nilai $\varepsilon_0 < \varepsilon_i \leq 0.0038$, maka

$$f_c = f'_c * (1 - (100 * (\varepsilon_i - \varepsilon_0))) \quad (2.7)$$

Gaya tarik baja tulangan dapat dihitung sebagai fungsi dari tegangan dan luas tulangan :

$$S = \sum A_s * f_s \quad (2.8)$$

dimana tegangan tulangan diperoleh dari iterasi regangan tulangan, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.4 berikut ini :



Gambar 2.4 Diagram regangan tulangan yang menyebabkan keruntuhan (sumber referensi Park dan Pauley, 1975).

Pada hasil akhir untuk mendapatkan nilai resultant kapasitas momen dihitung dari momen tegangan beton dan baja tulangan.

$$M_R = (C_c * (yb - yc)) + (S * (yb - ys)) \quad (2.9)$$

dimana :

y_b : titik berat luasan total (*plastic centroid*)

y_c : titik berat luasan tekan beton

y_s : titik tulangan

Resultant momen kapasitas (M_R) yang telah dicari kemudian diuraikan terhadap sumbu x menjadi M_x dan terhadap sumbu y menjadi M_y .

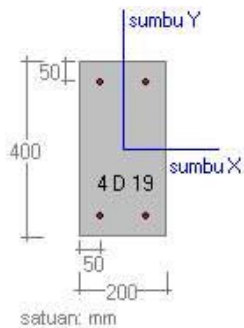
METODOLOGI

3.1 Jenis Data

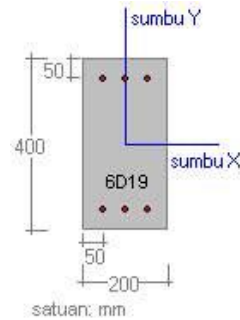
Dalam melakukan analisis kolom ini, memerlukan beberapa jenis data, yaitu berupa :

3.1.1 Data Primer

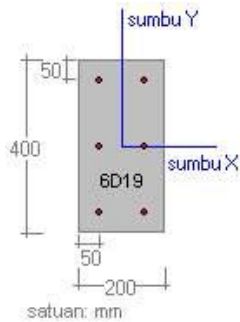
Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis mengambil data primer berupa beberapa bentuk geometrik penampang dan susunan konfigurasi tulangan sebagai berikut :



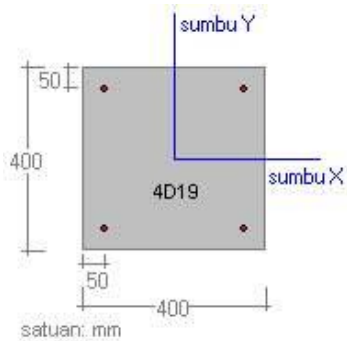
Gambar 3.1 Penampang 1_a



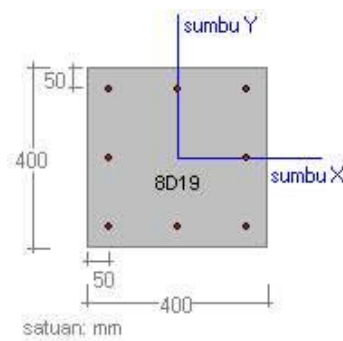
Gambar 3.2 Penampang 1_b



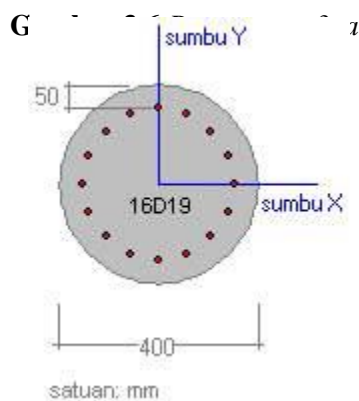
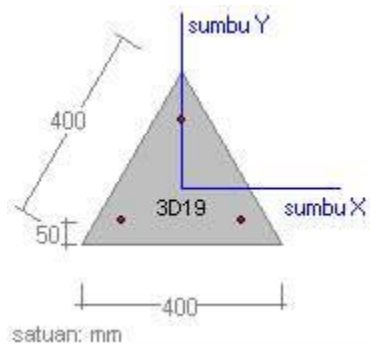
Gambar 3.3 Penampang 1_c



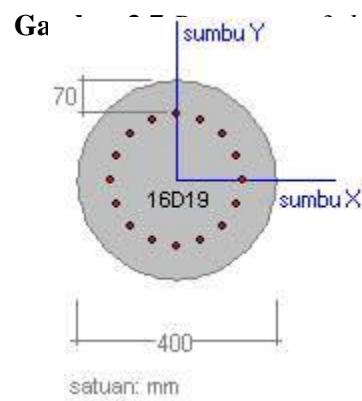
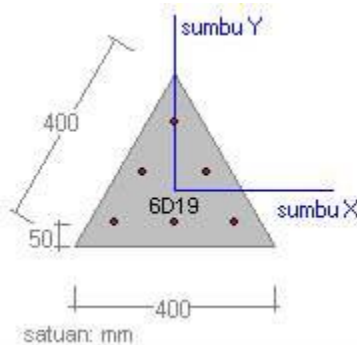
Gambar 3.4 Penampang 2_a



Gambar 3.5 Penampang 2_b



Gambar 3.8 Penampang 4_a



Gambar 3.9 Penampang 4_b

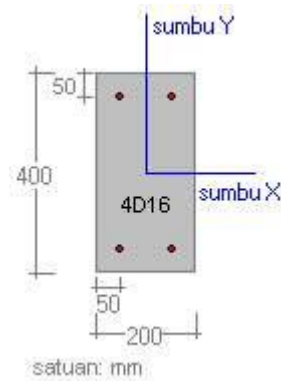
Seperti yang telah dijelaskan dalam sub bab sebelumnya, maka sebagai data primer kami seragamkan kuat tekan beton (f'_c) dan kuat tarik baja (f_y) sebesar : untuk nilai (f'_c) = 22,5 Mpa & nilai (f_y) = 320 Mpa.

3.1.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang sudah ada dan dapat dipergunakan secara teknis dalam menganalisa. Adapun data sekunder yang penulis pergunakan adalah :

1. Hasil analisis yang telah dilakukan oleh DR.Ir. Nuroji, MT ;dkk, dengan judul “Pengaruh Geometrik Penampang dan Konfigurasi Tulangan pada Struktur Kolom Beton Bertulang Terhadap Diagram Interaksi Antara Gaya Aksial dan Momen Biaksial”(2001), dengan data sebagai berikut :

$$f'_c = 25 \text{ Mpa} \quad f_y = 350 \text{ Mpa}$$



Gambar 3.10 Penampang validitas

2. Metoda analisis yang digunakan.
3. Standar dan referensi yang dipakai dalam analisis.

3.2 Metoda Perolehan Data

Metoda perolehan data pada analisis kolom ini adalah :

1. Metoda literature, yaitu dengan mengumpulkan, mengidentifikasi data dari literatur sebagai bahan masukan.
2. Metode observasi dokumentasi dari penelitian yang sudah ada, yaitu dengan melakukan pembelajaran dan pemahaman lebih detail sebagai bahan acuan dalam analisis.

3.3 Pengolahan Data

Data – data yang telah diperoleh, baik data primer maupun data sekunder selanjutnya akan digunakan sebagai bahan untuk diolah. Adapun langkah – langkah dalam pengolahan data adalah sebagai berikut :

1. Memasukkan input data
Input data yang dimasukan antara lain : nilai f'_c , f_y , E_c , E_s , panjang tiap sisi – sisi penampang dan posisi tulangan. Input data ini dimasukkan secara manual dengan mengisi nilai – nilai tersebut ke dalam form yang telah disediakan.
2. Menghitung gaya aksial centris (P_1) dengan inkrementasi 1/20 dari 0 sampai dengan P_{max} .
3. Mentransformasikan penampang dan tulangan sesuai sudut α

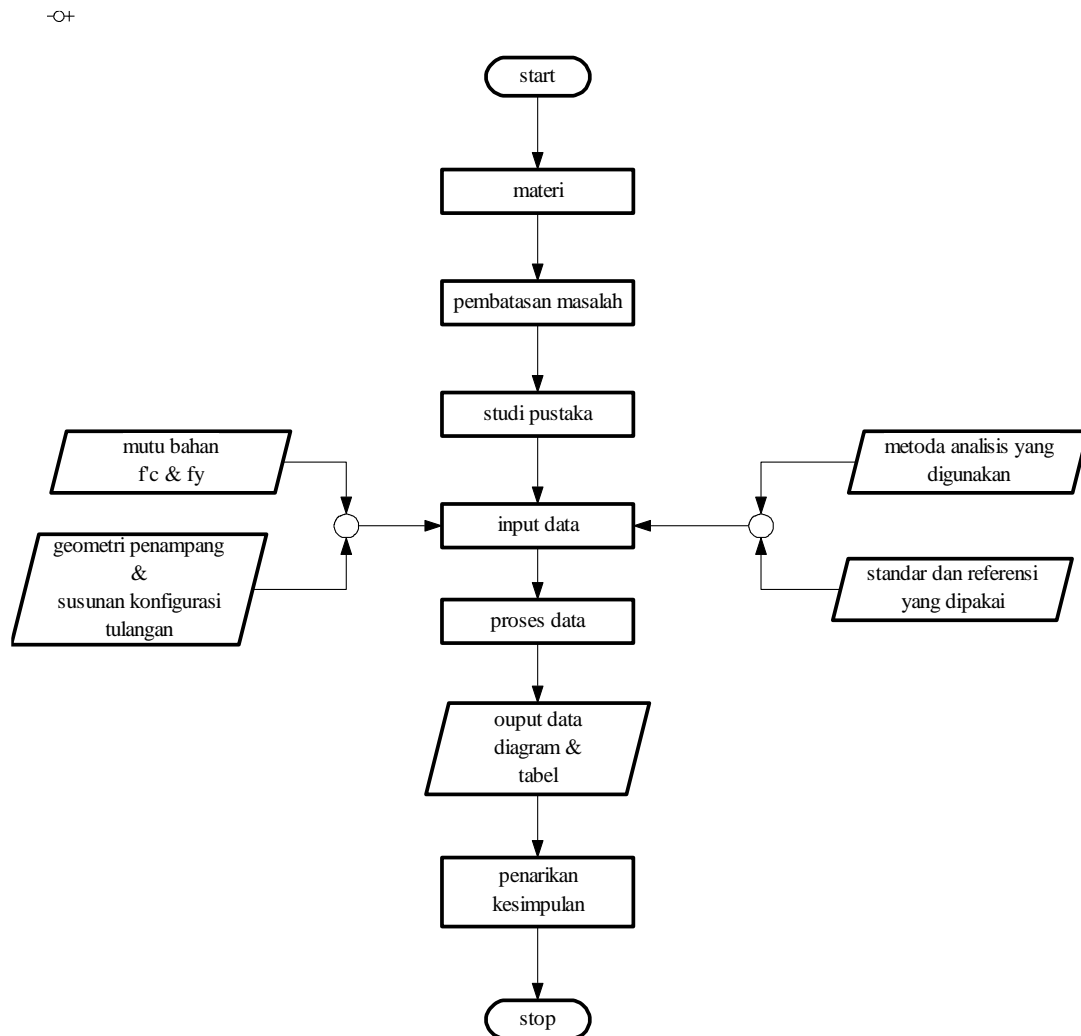
Resultante kapasitas momen dianalisis dengan putaran sudut dari 0° sampai 360° dengan pembagian 32 sudut. Menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}
 & \text{for } i = 0 \text{ to } 32 \\
 & \alpha = \alpha + 360^\circ / 32 \\
 & X(i) = X(i) * \cos \alpha - Y(i) * \sin \alpha \\
 & Y(i) = X(i) * \sin \alpha + Y(i) * \cos \alpha
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

4. Menghitung titik berat penampang total dengan inkrementasi 1/10 dari luasan total (luasan total dibagi dalam 10 pias).
5. Mencari nilai awal “c” untuk posisi tinggi block tegangan tekan beton Hognestad dengan inkrementasi 0.1 mm.
6. Menghitung luas block tekan beton yang dibagi dalam 100 pias, dengan menggunakan persamaan 2.4.
7. Menghitung gaya tekan beton C_c dan gaya tulangan S dengan menggunakan persamaan 2.5 dan persamaan 2.8.
8. Mencari keseimbangan gaya
Keseimbangan gaya (P) dicari dengan menggunakan persamaan 2.3. Dimana gaya aksial tekan (P_1) maksimal bernilai $0,65 f'_c A_g$. Gaya aksial diinkrementasi menjadi 20 bagian dengan batas minimal bernilai 0(nol). Jika gaya dalam (P) belum mendekati nilai gaya aksial tekan (P_1), maka dilakukan iterasi pada langkah kelima sampai nilai P berada pada *range* $P_1 - 1 < P < P_1 + 1$.
9. Menghitung resultante momen
Kapasitas momen resultant dapat dihitung dari momen tegangan beton dan momen baja tulangan. Untuk momen tegangan beton dicari dengan mengintegrasikan statis momen per pias dengan acuan koordinat titik berat penampang total..
10. Menguraikan M_R menjadi M_x dan M_y
Resultant momen kapasitas (M_R) yang telah dicari kemudian diuraikan terhadap sumbu x menjadi M_x dan terhadap sumbu y menjadi M_y , dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}
 M_x &= M_R * \cos \alpha \\
 M_y &= M_R * \sin \alpha
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

11. Membuat tabel hasil momen sumbu x dan sumbu y sebagai output data tabel.
12. Mendeskripsikan tabel momen menjadi diagram/ kurva interaksi dua dimensi dengan sumbu utama M_x dan M_y .



Gambar 3.11 Diagram metodologi alir pikir penyusunan laporan

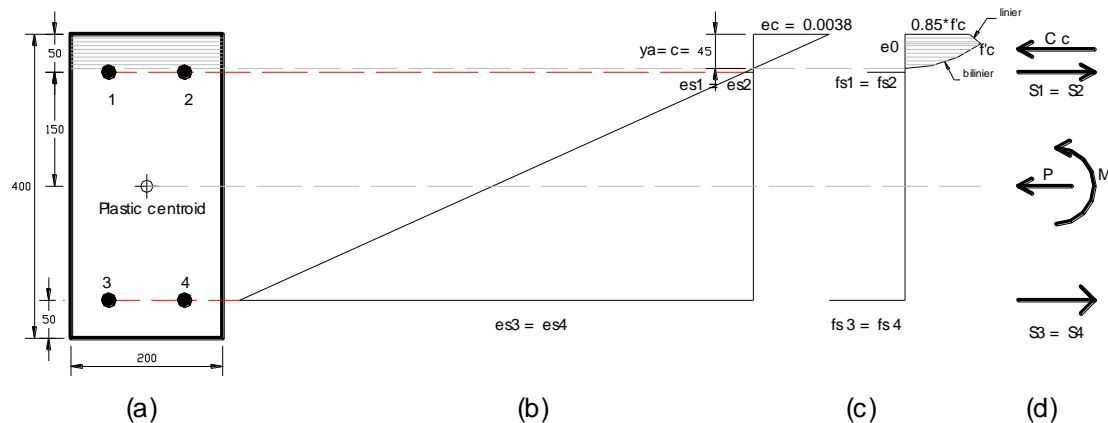
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Validitas dengan Analisis Manual

Untuk mengetahui bahwa aplikasi program analisis tersebut telah benar dalam mengeksekusi perintah dari programmer, maka penulis selaku programmer melakukan check validitas hasil analisis menggunakan dua metoda, yaitu metoda validitas dengan analisis manual dan metoda validitas dengan program yang sudah ada hasil output analisis yang telah dilakukan oleh DR.Ir. Nuroji, MT ;dkk, dengan materi “Pengaruh Geometrik Penampang dan Konfigurasi Tulangan pada Struktur Kolom Beton Bertulang Terhadap Diagram Interaksi Antara Gaya Aksial dan Momen Biaksial”(2001).

Metoda validitas terhadap manual analisis akan terlebih dahulu dilakukan dalam sub bab ini. Adapun data yang akan dicek bersumber dari hasil output form analisis dengan data – data sebagai berikut :

Dari uraian output diatas, maka diagram regangan tegangan tulangan dan diagram blok tegangan tekan beton Hognestad dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4.4 Penampang dengan gaya aksial centris dan momen biaksial pada $P_1 = 0$ KN dengan sudut 0° : (a) penampang persegiempat 200x400; (b) diagram regangan; (c) diagram tegangan beton Hognestad; (d) gaya-gaya dalam dan momen yang terjadi.

6. Perhitungan block tegangan tekan beton Hognestad

Dikarenakan dalam aplikasi program luasan tekan beton dibagi dalam 100 pias dengan membutuhkan kapasitas memori yang besar, dimana gaya tekan beton (C_c)

dianalisis tiap 1 pias dalam 100 kali perulangan, maka penulis tidak melakukan validitas secara manual.

7. Perhitungan regangan tulangan

$$es = \frac{0.0038 * (ya - (ytz - Y \min))}{ya}$$

$$es1 = \frac{0.0038 * (45 - (50 - 0))}{45} = -0.00042222 \sim -0.00042$$

$$es2 = es1 = -0.00042222 \sim -0.00042$$

$$es3 = \frac{0.0038 * (45 - (350 - 0))}{45} = -0.02575555 \sim -0.02576$$

$$es4 = es3 = -0.02575555 \sim -0.02576$$

8. Perhitungan tegangan tulangan

$$ey = \frac{fy}{Es} = \frac{350}{2 \cdot 10^5} = 0.00175$$

$$\text{Syarat : } ey > es1 > -ey, \text{ maka } fs1 = es1 * Es = -0.00042222 * 2.10^5$$

$$fs1 = -84.4444444 \text{ Mpa}$$

$$\text{Syarat : } ey > es2 > -ey, \text{ maka } fs2 = -84.4444444 \text{ Mpa}$$

$$\text{Syarat : } es3 \leq -ey, \text{ maka } fs3 = -fy = -350 \text{ Mpa}$$

$$\text{Syarat : } es4 \leq -ey, \text{ maka } fs4 = -350 \text{ Mpa}$$

9. Perhitungan gaya tulangan

$$S1 = as1 * fs1 = (1/4 * \pi * 16^2) * (-84.4444444) = -16978.56295$$

$$\sim -16978.56 \text{ N}$$

$$S2 = as2 * fs2 = (1/4 * \pi * 16^2) * (-84.4444444) = -16978.56295 \text{ N}$$

$$S3 = as3 * fs3 = (1/4 * \pi * 16^2) * (-350) = -70371.67544 \sim -70371.68 \text{ N}$$

$$S4 = as4 * fs4 = (1/4 * \pi * 16^2) * (-350) = -70371.67544 \text{ N}$$

10. Perhitungan persamaan keseimbangan gaya

$$P = Cc + S = (174730.30 - 16978.56295 - 16978.56295 - 70371.67544$$

$$- 70371.67544) / 1000$$

$$P = 0.02982322 \sim 0.03 \text{ KN}$$

11. Perhitungan momen resultant

$$MR = ((Cc * (Y0b1 - Y01)) + (S * (Y0b1 - ytz))) / 1000000$$

$$MR = ((174730.30 * (200 - 22.50)) + (-16978.56295 * (200 - 50)))$$

$$\begin{aligned} &+(-16978.56295*(200-50))+(-70371.67544*(200-350))+ \\ &+(-70371.67544*(200-350))) / 1000000 \end{aligned}$$

$$MR = 47.032562 \sim 47.033 \text{ KNm}$$

Tabel 4.1 Validitas hasil analisis program dengan hasil analisis manual.

Uraian	Hasil analisis program	Hasil analisis manual	Prosentase validitas (%)
es1	-0.00042	-0.00042	100
es3	-0.02576	-0.02576	100
ey	0.00175	0.00175	100
fs1	-84.44444	-84.44444	100
fs3	-350	-350	100
S1	-16978.56	-16978.56	100
S2	-16978.56	-16978.56	100
S3	-70371.68	-70371.68	100
S4	-70371.68	-70371.68	100
P	0.03	0.03	100
MR	47.033	47.033	100

Dari tabel diatas terlihat bahwa hasil analisis program memiliki validitas sempurna dengan hasil analisis manual.

Validitas dengan Program yang Sudah Ada

Data yang digunakan sama dengan data validitas sub bab sebelumnya, adapun data selengkapnya berupa diagram interaksi dan tabel terdapat pada halaman pertama dan kedua dari sub bab 4.4. Sedangkan hasil analisis pembandingan untuk validitas selengkapnya terdapat pada lampiran. Berikut ini tabel validitas antara hasil analisis program dengan hasil analisis yang telah dilakukan oleh DR.Ir. Nuroji, MT; dkk pada tahun 2001 :

Tabel 4.2 Validitas momen resultant (MR) hasil analisis program dengan hasil analisis DR.Ir. Nuroji, MT; dkk(2001) pada $P1 = 0 \text{ KN}$.

Sudut	Hasil analisis program	Hasil analisis DR.Ir. Nuroji, MT; dkk	Prosentase validitas (%)
0	47.033	47.230	99.583
90	22.912	23.030	99.488
180	47.033	47.230	99.583
270	22.912	23.030	99.488

Tabel 4.3 Validitas momen resultant (MR) hasil analisis program dengan hasil analisis DR.Ir. Nuroji, MT; dkk(2001) pada $P1 = 1300 \text{ KN}$ (maximum).

Pada tabel diatas nilai momen biaksial maksimum belum tentu terjadi pada gaya aksial yang sama untuk setiap sudut putar penampangnya, untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam tabel 4.6, khususnya pada sudut 45^0 , 135^0 , 225^0 dan 315^0 berikut ini :

Tabel 4.6 Momen biaksial mencapai maksimum untuk penampang 1_a (KNm)

Gaya aksial(KN)	Sudut (derajat)								
	0	45	90	135	180	225	270	315	360
643.500	124.225	85.519	53.040	85.519	124.225	85.519	53.040	85.519	124.225
702.000	124.745	85.298	53.300	85.298	124.745	85.298	53.300	85.298	124.745

Sedangkan susunan konfigurasi tulangan dalam pembentukan kurva diagram interaksi momen biaksial sangat berhubungan erat dengan diagram regangan tegangan tulangan yang dihasilkan dan pengaruhnya dalam diagram interaksi dapat terlihat jelas ketika terdapat pada satu jenis geometrik penampang. Pada tabel 4.7 dibawah ini menunjukkan bahwa ketika $P_1 = 0$ KN (tanpa gaya aksial centris) dimana momen biaksial yang dihasilkan akan meningkat nilainya manakala posisi tulangan yang berada pada kondisi tulangan tarik memberikan pengaruh pada penambahan gaya, karena ketika $P_1 = 0$ KN jarak tinggi block luasan tekan beton masih dibawah *plastic centroid* ($c < c_b$) dan diagram regangan tegangan yang terjadi $\epsilon_s \geq \epsilon_y$ dan $f_s = f_y$ adalah merupakan type keruntuhan tarik (*tension failures*).

Tabel 4.7 Momen biaksial pada kondisi tanpa gaya aksial centris (KNm)

Penampang	Sudut (derajat)								
	0	45	90	135	180	225	270	315	360
1_a	58.702	49.555	26.619	49.555	58.702	49.555	26.619	49.555	58.702
1_b	85.894	66.136	35.980	66.136	85.894	66.136	35.980	66.136	85.894
1_c	85.277	64.909	35.930	64.909	85.277	64.909	35.930	64.909	85.277
2_a	62.929	76.045	62.929	76.045	62.929	76.045	62.929	76.045	62.929
2_b	117.651	123.763	117.651	123.763	117.651	123.763	117.651	123.763	117.651
3_a	37.851	28.147	33.237	36.645	25.644	36.645	33.237	28.147	37.851
3_b	57.078	54.201	63.565	63.338	44.031	53.601	62.367	54.362	57.076
4_a	181.082	181.082	181.082	181.082	181.082	181.082	181.082	181.082	181.082
4_b	164.659	164.659	164.659	164.659	164.659	164.659	164.659	164.659	164.659

Berbeda ketika P_1 mencapai maksimum, momen biaksial yang dihasilkan akan meningkat nilainya manakala posisi tulangan yang berada pada kondisi tulangan tekan memberikan pengaruh pada penambahan gaya tekan, karena ketika P_1 mencapai kondisi maksimum jarak tinggi block luasan tekan beton melebihi *plastic centroid* ($c > c_b$) dan diagram

regangan tegangan yang terjadi $\varepsilon_s < \varepsilon_y$ dan $f_s < f_y$ adalah merupakan type keruntuhan tekan (*compression failures*). Selengkapnya terdapat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.8 Momen biaksial pada kondisi gaya aksial centris mencapai maksimum (KNm)

Penampang	Sudut (derajat)								
	0	45	90	135	180	225	270	315	360
1_a	90.120	63.868	38.597	63.868	90.120	63.868	38.597	63.868	90.120
1_b	115.663	81.228	43.111	81.228	115.663	81.228	43.111	81.228	115.663
1_c	103.462	72.947	47.225	72.947	103.462	72.947	47.225	72.947	103.462
2_a	129.560	115.411	129.560	115.411	129.560	115.411	129.560	115.411	129.560
2_b	170.217	147.652	170.217	147.652	170.217	147.652	170.217	147.652	170.217
3_a	26.937	56.903	42.396	30.010	61.897	30.010	42.396	56.903	26.937
3_b	42.424	69.514	65.258	48.520	70.980	52.850	63.778	74.289	42.242
4_a	192.632	192.632	192.632	192.632	192.632	192.632	192.632	192.632	192.632
4_b	173.305	173.305	173.305	173.305	173.305	173.305	173.305	173.305	173.305

Ketika gaya aksial centris mencapai maksimum, penambahan tulangan baik disisi lebar atau sisi tinggi untuk persegiempat pada penampang 1_b dan penampang 1_c memberikan penambahan momen biaksial pada sudut yang berbeda, misalnya pada penampang 1_b memberikan penambahan pada sudut $0^0, 180^0, 360^0$, dikarenakan pada posisi tersebut tulangan sisi lebar berjajar sama banyak masing – masing berjumlah 3 biji, namun sebaliknya ketika penampang berputar pada posisi 90^0 dan 270^0 nilai momen biaksialnya lebih kecil dibanding dengan penampang 1_c. Hal tersebut dikarenakan pada posisi tersebut tulangan yang berada pada kondisi tekan dan tarik hanya berjumlah masing – masing 2 biji, sedangkan pada penampang 1_c berjumlah masing – masing 3 biji. Lain halnya yang terjadi pada penampang 2_b, dengan penambahan tulangan tengah mengakibatkan penambahan momen biaksial yang seragam pada setiap sudutnya, seperti yang terlihat pada tabel 4.5 dan tabel 4.8.

Pada penampang 4_a dan penampang 4_b yang diberikan perbedaan jarak serat beton terluar dengan as tulangan (selimut beton) memperlihatkan bahwa semakin besar jarak selimut beton, maka semakin kecil nilai momen biaksial yang dihasilkan. Perhatikan dalam tabel 4.5, tabel 4.7 dan tabel 4.8 serta hasil cetakkan diagram interaksi dalam sub bab 4.4, hal ini dikarenakan semakin mendekatnya posisi tulangan pada titik *plastic centroid* yang menyebabkan semakin pendek lengan momennya. Dari kedua penampang lingkaran ini pula didapatkan suatu bentuk/pola kurva diagram interaksi yang seragam dan merata nilai momen biaksialnya. Seperti yang penulis kutip dari buku *Disain Beton Bertulang* , Wang & Salmon (Hariandja (Terj), 1993:467) menyatakan, “Beberapa komentar tambahan mengenai perencanaan dari unsur tekan

dalam lentur biaksial dapat diberikan sebagai berikut : 1) Bilamana memungkinkan, kolom yang dibebani dengan lentur biaksial sebaiknya berbentuk lingkaran, 2) Jika diperlukan bentuk kolom yang persegi atau bujursangkar, tulangan sebaiknya disebarkan merata sekeliling”.

Berdasarkan sebuah pernyataan diatas dan dari pembahasan ini pula, jelas sudah bahwa penampang yang paling baik untuk menerima gaya aksial centris dan momen biaksial adalah penampang lingkaran dengan tulangan terdistribusi secara merata disekelilingnya. Terutama untuk kolom – kolom pojok yang mengalami momen lentur pada kedua sumbu utama x dan y .

PENUTUP

Kesimpulan

Hal – hal yang dapat penulis simpulkan setelah mengetahui hasil pembahasan dari output aplikasi program yang telah memproses input data primer dengan validitas data sekunder serta telah mengolahnya sesuai dengan metoda perolehan data dan tetap berpegangan dan berpedoman pada studi pustaka yang telah dikaji tanpa melupakan batasan masalah, manfaat dari penelitian ini, maksud dan tujuan, perumusan masalah yang dihadapi serta latar belakang masalah yang telah dikemukakan dimuka, adalah sebagai berikut :

1. Geometrik penampang dan konfigurasi tulangan sangat berpengaruh pada pembentukan diagram interaksi antara gaya aksial centris dan momen biaksial pada kolom pendek beton bertulang.
2. Bentuk/ geometrik penampang memberikan pengaruh pada pola garis lengkung didalam diagram interaksi yang merupakan penggambaran dari jumlah sisi – sisi tiap penampang dan memberikan pengaruh terhadap diameter kapasitas momen biaksial yang berbanding lurus dengan luasan total masing – masing penampang.
3. Momen biaksial maksimum yang dihasilkan nilainya belum tentu sama pada sudut yang serupa, hal tersebut dikarenakan perbedaan posisi titik tulangan pada setiap sudutnya terhadap posisi titik *plastic centroid*.
4. Konfigurasi tulangan dalam pembentukan kurva diagram interaksi momen biaksial sangat berhubungan erat dengan diagram regangan tegangan tulangan yang dihasilkan. Ketika jarak tinggi block tegangan tekan kurang dari sumbu netral ($c < c_b$), maka tulangan tarik yang mempunyai pengaruh dalam penambahan nilai momen

biaksial, begitu juga sebaliknya ketika ($c > c_b$), maka tulangan tekan yang mempunyai pengaruh dalam penambahan nilai momen biaksial.

5. Perubahan tebal selimut tidak mempengaruhi pola diagram interaksi yang terbentuk pada penampang lingkaran, namun nilai momen biaksial semakin mengecil karena semakin mendekatnya posisi tulangan dengan *plastic centroid* yang berakibat makin kecilnya lengan momen tulangan.
6. Penampang yang paling baik dengan kapasitas momen biaksial terdistribusi merata adalah penampang lingkaran dan susunan konfigurasi tulangan yang paling baik adalah yang merata disekeliling penampang.
7. Terlihat dari keempat bentuk dasar penampang yang diuji bahwa kapasitas momen biaksial tidak sama pada setiap penampangnya.

Saran

Hal – hal yang dapat penulis sarankan, antara lain :

1. Untuk analisis beton bertulang yang menggunakan block tegangan tekan beton Hognestad sangat relevan bila digunakan suatu bantuan aplikasi program pada komputer dalam melakukan penganalisaan secara numerik. Terlebih bila menggunakan konfigurasi data yang beragam, disamping relevan aplikasi program numerik juga menghemat waktu dalam pengerjaannya serta akurat, sehingga tidak salah apabila bagi pecinta BMW (biaya, mutu, waktu) dapat terpenuhi.
2. Khusus untuk kolom – kolom pojok yang mengalami momen lentur pada kedua sumbu utama x dan y , yang relatif memiliki perbandingan yang tidak besar satu sama lain, sebaiknya dianalisis dalam dua arah sekaligus tanpa melalui superposisi yang dapat mengakibatkan perkuatan berlebih atau *over reinforced* yang akan menyebabkan getas pada beton.
3. Dalam mendisain kolom pojok terutama bagi para Arsitek, sebaiknya dimensi penampang kolomnya berbentuk persegi (bujur sangkar) dengan penempatan (konfigurasi) tulangan merata pada keempat sisinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen PU. 1991. **Standar Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bertulang Untuk Bangunan Gedung (SK. SNI T-15-1991-03)**. Bandung: Yayasan LPMB.
- Fintel, Mark. 1974. **Handbook of Concrete Engineering**.
- Kadir, Abdul. 2001. **Dasar Pemograman DELPHI 5.0 (jilid 2)**. Yogyakarta : Andi Offset.
- Martina, Inge. 2002. **36 Jam Belajar Komputer Database Client/ Server Menggunakan DELPHI**. Jakarta : Elex Media Komputindo.
- Nawy, Edward G. 1998. **Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar** (Terj. Bambang Suryoatmono). Bandung : Refika Aditama.
- Nilson, Arthur H; David Darwin & Charles W Dolan. 2003. **Design Of Concrete Structure**. Singapore : Mc. Graw Hill.
- Park, R & T. Pauley. 1975. **Reinforced Concrete Structure**. New York : John Wiley & Sons.
- Purwanto; Nuroji & Himawan Indarto. 2001. **Pengaruh Geometri Penampang dan Konfigurasi Tulangan pada Struktur Kolom Beton Bertulang Terhadap Diagram Interaksi Antara Gaya Aksial dan Momen Biaksial**. Laporan Penelitian Dosen Muda UNDIP tahun anggaran 2000/2001.
- Wang, Chu – Kia & Charles G. Salmon. 1993. **Disain Beton Bertulang** (Terj. Binsar Hariandja). Jakarta : Erlangga.
- Wahyudi, Laurentius & Syahril A. Rahim. 1997. **Struktur Beton Bertulang Standar Baru SNI T-15-1991-03**. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.